

Strømmålinger for Bergen Aqua AS på  
Mongstad i Lindås kommune





# Rådgivende Biologer AS

**RAPPORTENS TITTEL:**

Strømmmålinger for Bergen Aqua AS på Mongstad i Lindås kommune

**FORFATTERE:**

Bjarte Tveranger og Geir Helge Johnsen

**OPPDRAAGSGIVER:**

Bergen Aqua AS

**OPPDRAGET GITT:**

januar 2004

**ARBEIDET UTFØRT:**

februar - mars 2004

**RAPPORT DATO**

6. april 2004

**RAPPORT NR:**

708

**ANTALL SIDER:**

22

**ISBN NR:**

ikke nummerert

**EMNEORD:**

- Oppdrettsanlegg på land
- Strømmmåling
- Sjøvannsinntak
- Lindås kommune

**SUBJECT ITEMS:**

RÅDGIVENDE BIOLOGER AS  
Bredsgården, Bryggen, N-5003 Bergen  
Foretaksnummer 843667082  
www.radgivende-biologer.no  
Telefon: 55 31 02 78    Telefax: 55 31 62 75    E-post: post@radgivende-biologer.no

## FORORD

Rådgivende Biologer AS har på oppdrag fra Bergen Aqua AS utført strømmålinger i forbindelse med planlagt vanninntak til et landbasert anlegg for oppdrett av marine arter på Mongstad. Mongstad Aqua AS har fått tildelt konsesjon for oppdrett av piggvar i Grunnevik. Det er tildelt konsesjon for et landsbasert anlegg for matfiskproduksjon på 28 000 m<sup>3</sup> (reg. nr H/1 17) og klekkeri, yngel og stamfisk på 7 000 m<sup>3</sup> (reg. nr H/1 18).

Anlegget vil ha tilnærmet ubegrenset tilgang på oppvarmet kjølevann fra annen planlagt industriell virksomhet i området, men siden det ikke er mulig å oppnå 100 % leveringsgaranti på dette kjølevannet året rundt, er det nødvendig å etablere en alternativ vannforsyning både for å sikre backup ved slike episoder, samt at det også er behov for en alternativ vannforsyning i den ordinære driften av anlegget.

En strømrigg med fem Sensordata SD 6000 målere ble plassert ut den 28. januar og tatt opp 2. mars 2004. Ved utsetting ble det samtidig målt en temperaturprofil i vannsøylen. Resultatene fra disse undersøkelsene er rapportert her.

Endre Jenssen fra Bergen Aqua AS deltok ved befaringen 28. januar og 2. mars 2004. Rådgivende Biologer AS takker Mongstad Vekst AS for lån av båt og assistanse i forbindelse med utsetting og opptak av strømmålerne og Bergen Aqua AS for oppdraget.

Bergen, 6. april 2004

## INNHOLDSLISTE

Forord og innholdsliste . . . . .	2
Sammendrag . . . . .	3
Område- og lokalitetsbeskrivelse . . . . .	4
Metode . . . . .	6
Temperatur- og sjiktningforhold . . . . .	8
Resultat av strømmålingene . . . . .	10
Diskusjon . . . . .	18
Referanser . . . . .	21
Om Gytre SD-6000 strømmåler . . . . .	22

## SAMMENDRAG

***Tveranger, B. & G. H. Johnsen 2004***

*Strømmmålinger for Bergen Aqua AS på Mongstad i Lindås kommune  
Rådgivende Biologer AS, rapport 708, 22 sider.*

Rådgivende Biologer AS har på oppdrag fra Bergen Aqua AS gjennomført måling av strøm på et sted hvor man planlegger sjøvannsinntak til et landbasert anlegg på Mongstad i Lindås kommune. En rigg med fem strømmålere (Sensordata SD 6000) stod utplassert på Mongstad i perioden 28. januar - 2. mars 2004 for måling av strøm på 2 m, 30 m, 60 m, 80 m og 120 m dyp.

Lokaliteten for det landbaserte anlegget ligger på land ved og nordvest for Grunnevik på Mongstad i Lindås kommune. Lokaliteten ligger i tilknytning til Fensfjorden, som er en kystnær, vid, åpen og over 500 m dyp fjord der det kan forventes gode strøm- og utskiftingsforhold året rundt. De antatt gode forholdene kan forklares ut fra at Fensfjorden er åpen og dyp der hovedterskelen ligger på hele 350 m dyp nordvest for Mongstad. Dette gjør at strøm- og utskiftingsdynamikken nok er enda bedre nedover i vannsøylen i denne fjorden nedover mot bunnen (over 500 m dyp) i forhold til fjorder som har en grunnere hovedterskel. Det vil således være kontinuerlig god utskifting og gode oksygenforhold i hele vannsøylen ned til bunnen i fjorden. Det er svært bratt i området fra Grunnevik og ut i fjorden, og allerede 500 m fra land er dybden over 400 m. Det kan forventes at vanninntaket vil bli liggende i en bratt fjellskråning uten sedimenter, og at det således ikke vil oppstå problemer med oppvirvling og inntak av sedimentpartikler i forbindelse med vanninntaket.

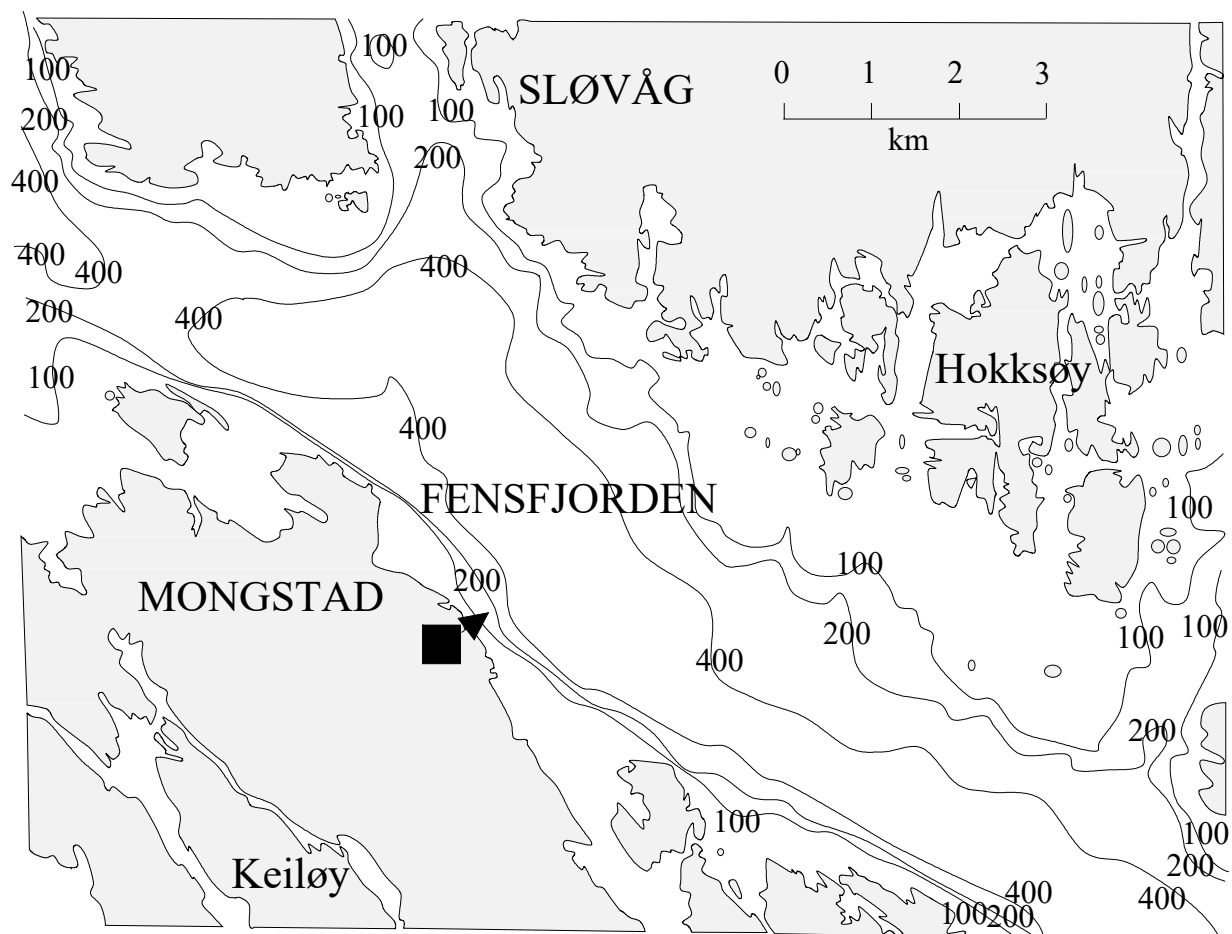
Temperaturmålinger viser at effekten av oppstuing av kyststrømmvann ved lengre perioder med kuling og storm fra sør kan registreres helt ned mot 120 meters dyp. Effekten av utstrømming av kyststrømmvann og underliggende innstrømming av havvann ved lengre perioder med kuling og storm fra nord og nordvest kan registreres helt opp til 30 meters dyp. For å være sikret stabil vannkvalitet med hensyn til temperatur og salinitet året rundt bør sjøvannsinntaket legges på minst 120 meters dyp.

Overflatestrømmen på 2 m dyp var på 5,1 cm/s med en maksimal hastighet på 30,2 cm/s. Strømmen på 30 meters dyp var sterk med en gjennomsnittlig hastighet på 2,9 cm/s og en maksimal hastighet på 11,8 cm/s. Strømmen på 60 meters dyp var middels sterk med en gjennomsnittlig hastighet på 2,0 cm/s og en maksimal hastighet på 7,8 cm/s. Strømmen på 80 meters dyp var svært sterk med en gjennomsnittlig hastighet på 3,7 cm/s og en maksimal hastighet på 25,0 cm/s. Strømmen på 120 meters dyp var svak med en gjennomsnittlig hastighet på 1,8 cm/s og en maksimal hastighet på 10,4 cm/s.

Innslaget av strømstille perioder var lite til svært lite ned til 80 meters dyp og middels høyt på 120 meters dyp. Strømretningen og vanntransporten fulgte på alle dyp i all hovedsak fjordens landskapstopografi og gikk i retning nordvest eller sørøst, men stabiliteten til strømmen på alle dyp i resultatretningen var relativt dårlig.

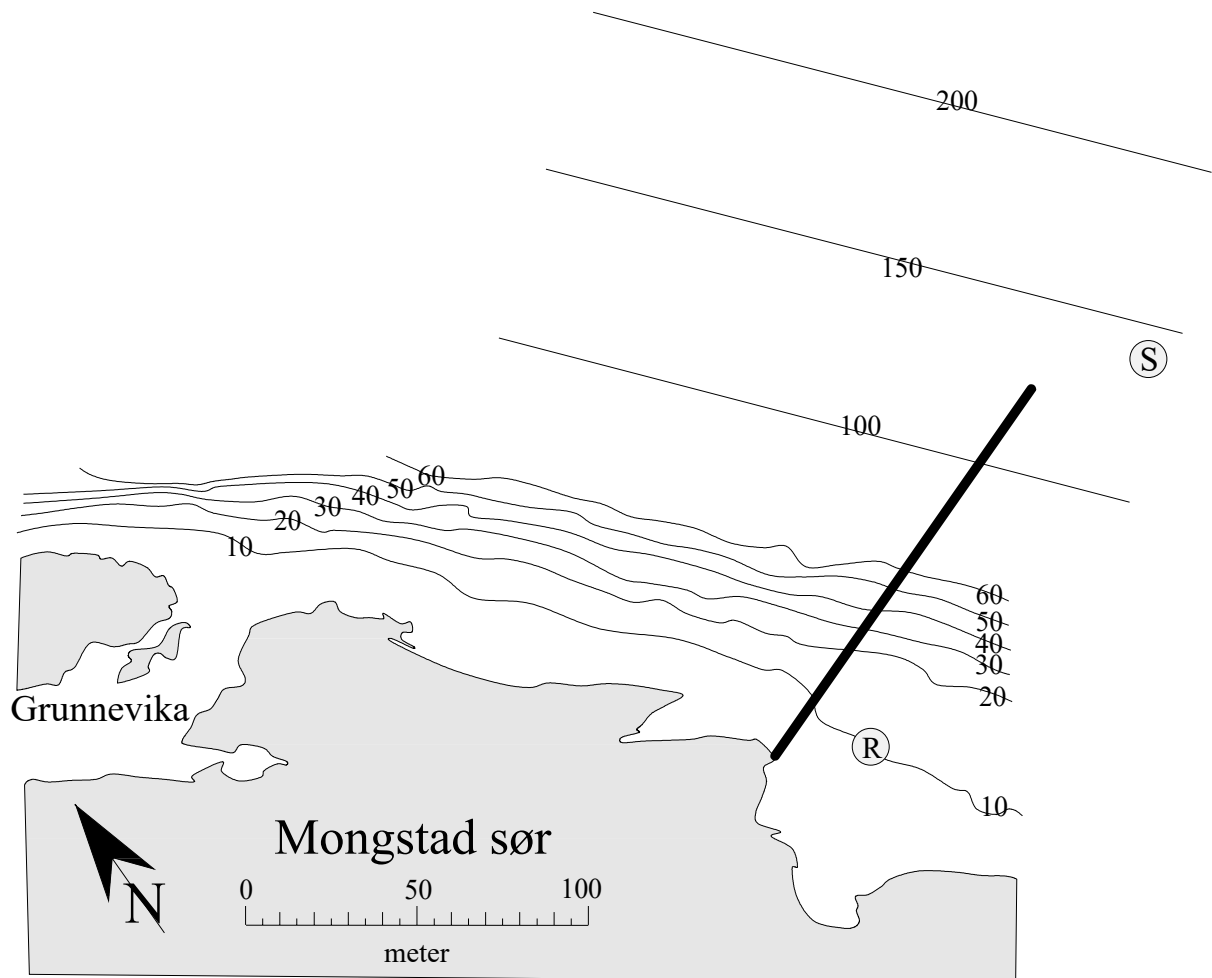
## OMRÅDE- OG LOKALITETSBEKRIVELSE

Lokaliteten for det landbaserte anlegget ligger på land ved og nordvest for Grunnevik på Mongstad i Lindås kommune (**figur 1**). Lokaliteten ligger i tilknytning til Fensfjorden, som er en kystnær, vid, åpen og over 500 m dyp fjord der det kan forventes gode strøm- og utskiftingsforhold året rundt. De antatt gode forholdene kan forklares ut fra at Fensfjorden er åpen og dyp der hovedterskelen ligger på hele 350 m dyp nordvest for Mongstad. Dette gjør at strøm- og utskiftingsdynamikken nok er enda bedre nedover i vannsøylen i denne fjorden nedover mot bunnen (over 500 m dyp) i forhold til fjorder som har en grunnere hovedterskel. Det vil således være kontinuerlig god utskifting og gode oksygenforhold i hele vannsøylen ned til bunnen i fjorden. Ved et planlagt vanninntak på ca 120 - 140 m dyp vil en alltid være garantert stabil og god vannkvalitet.



**Figur 1.** Oversiktskart over Fensfjorden med avmerking av planlagt sted for sjøvannsinntak. Kartet er tegnet ut fra sjøkart over området.

Vanninntaket til det landbaserte anlegget er planlagt utlagt ca 200 m sør for Grunnevika, i en ca 150 - 200 m lang ledning på ett sted mellom 100 og 140 m dyp (**figur 2**). Det er svært bratt i området fra Grunnevika og ut i fjorden, og allerede 500 m fra land er dybden over 400 m. Det kan forventes at vanninntaket vil bli liggende i en bratt fjellskråning uten sedimenter, og at det således ikke vil oppstå problemer med oppvirvling og inntak av sedimentpartikler i forbindelse med vanninntaket. Erfaringsmessig vil også vanninntak fra dette dypet være tilnærmet sterilt.



**Figur 2.** Ovesikt over deler av det planlagte anleggsområdet ved Grunnevika og ledningstrasé for sjøvannsinntaket til anlegget. Kartet er tegnet etter en skisse over anleggsområdet. Plassering av strømmålerne er markert med 'S'. Posisjons-referansepunktet er markert med 'R' (N 60° 48,213' / Ø 5° 03,578').

## METODE

### Utplassering av målerne

I perioden 28. januar - 2. mars 2004 var det utplassert en rigg med fem Gytre Strømmålere (modell SD-6000 produsert av Sensordata A/S i Bergen) ut forbi Grunnevik i posisjon N 60°48,270' / Ø 05°03,678' (**figur 2**). Riggeren var forankret til bunnen med et lodd på ca 50 kg, og det var festet trålkuler av plast i tauet over øverste og nederste strømmåler for å sikre tilstrekkelig oppdrift og stabilitet på riggen i sjøen, samt en blåse og en blinkende markeringsbøye til overflaten i et slakt tau for å ta av for bølgepåvirkning. Riggeren var også festet med et sikringstau fra loddet og inn til land. Det var ca 140 m til bunnen der riggen ble utplassert, i et bratt skrånende område. Det ble målt temperatur, strømhastighet og strømrøtning hver halvtime på 2 m, 30 m, 60 m, 80 m og 120 m dyp.

### Resultatpresentasjon

Resultatene av målinger av strømhastighet og strømrøtning er presentert hver for seg, og kombinert i **progressiv vektoranalyse**. Et **progressivt vektorplott** er en figurstrek som blir til ved at man tenker seg en merket vannpartikkel som er i strømmålerens posisjon ved målestart og som driver med strømmen og tegner en sti etter seg som funksjon av strømfyrke og retning. (kryssene i diagrammet viser beregnet posisjon fra hvert startpunkt ved hvert døgnskifte). Når måleperioden er slutt har man fått en lang, sammenhengende strek, der **vektoren** blir den rette linjen mellom start- og endepunktet på streken. Dersom man deler lengden av denne vektoren på lengden av den faktiske linjen vannet har fulgt, får man **Neumann parameteren**. Neumann parameteren forteller altså noe om stabiliteten til strømmen i vektorretningen. Vinkelen til vektoren ut fra origo, som er strømmåleren sin posisjon, blir kalt resultatretningen. Dersom strømmen er stabil i vektorretningen, vil figurstrekken være relativt rett, og verdien av Neumann parameteren vil være høy. Er strømmen mer ustabil i denne retningen er figurstrekken mer «bulkete» i forhold til vektorretningen, og Neumann parameteren får en lav verdi. Verdien av Neumann parameteren vil ligge mellom 0 og 1, og en verdi på for eksempel 0,80 vil si at strømmen i løpet av måleperioden rant med 80% stabilitet i vektorretningen, noe som er en svært stabil strøm.

**Vanntransporten** (relativ fluks) er også en funksjon av strømfyrke og strømrøtning, og her ser man hvor mye vann som renner gjennom en rute på 1 m<sup>2</sup> i hver 15 graders sektor i løpet av måleperioden. Når man regner ut relativ fluks tar man utgangspunkt i alle målingene for strømfyrke i hver 15 graders sektor i løpet av måleperioden. For hver måling innen en gitt sektor multipliserer man strømhastigheten med tidslengden, dvs. hvor lenge målingen var gjort innen denne sektoren. Her må man også ta hensyn til om tidsserien inneholder strømmålinger med forskjellig styrke. Summen av disse målingene i måleperioden gir relativ fluks for hver 15 graders sektor. Relativ fluks er svært informativ og forteller hvordan vannmassene blir transportert som funksjon av strømfart og -retning på lokaliteten.



## Klassifisering av strømmålingene

Rådgivende Biologer AS har utarbeidet et klassifiseringssystem for vannutskiftingsstrøm, spredningsstrøm og bunnstrøm med hensyn til de tre parametrene gjennomsnittlig strømhastighet, retningsstabilitet og innslag av strømstille perioder. Klassifiseringssystemet er utarbeidet på grunnlag av resultater fra strømmålinger med Gytre Strømmåler (modell SD-6000) på ca 150 lokaliteter for vannutskiftingsstrøm og 70 lokaliteter for spredningsstrøm og bunnstrøm. Klassifiseringssystemet er laget for å beskrive kvaliteten på strømmen i forhold til anleggsdrift i sjø, og blir i denne sammenheng kun benyttet som en referanse for å beskrive kvaliteten på strømmen i de ulike sjikt. Representativt dyp for målt vannutskiftingsstrøm i våre strømmålingsserier er 5 - 10 m middel merddyp. Tilsvarende for spredningsstrømmen målt midt mellom anlegg og bunn er 20 - 50 m. Bunnstrømmen er målt på ca 40 - 100 m dyp. Strømmålingsserien fra Mongstad kan beskrives slik at målingene på 2 m dyp representerer overflatesjiktet i vannsøylen, der vi ennå ikke har tilstrekkelig med antall målinger for å kunne lage klassifisering. Strømmålingene på 30 m dyp representerer spredningsstrømmen, mens strømmålingene på 60, 80 og 120 meters dyp representerer bunnstrømmen.

**Tabell 2.** Klassifisering av gjennomsnittlig strømhastighet. Tilstandsklasse V er best.

Tilstandsklasse	I	II	III	IV	V
	svært svak	svak	middels sterk	sterk	svært sterk
Vannutskiftingsstrøm (cm/s)	< 1,8	1,8 - 2,5	2,6 - 4,5	4,6 - 7	> 7
Spredningsstrøm (cm/s)	< 1,4	1,4 - 2,0	2,1 - 2,7	2,8 - 4	> 4
Bunnstrøm (cm/s)	< 1,3	1,3 - 1,8	1,9 - 2,5	2,6 - 3	> 3

**Tabell 3.** Klassifisering av innslaget av strømstille perioder, definert som strøm under 2 cm/s i perioder på 2,5 timer eller mer, og målt som prosent av samlet måleperiode. Tilstandsklasse I er best.

Tilstandsklasse	I	II	III	IV	V
	svært lite	lite	middels	høy	svært høy
Vannutskiftingsstrøm (%)	< 10	10 - 20	20 - 35	35 - 50	> 50
Spredningsstrøm (%)	< 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	> 80
Bunnstrøm (%)	< 25	25 - 50	50 - 75	75 - 90	> 90

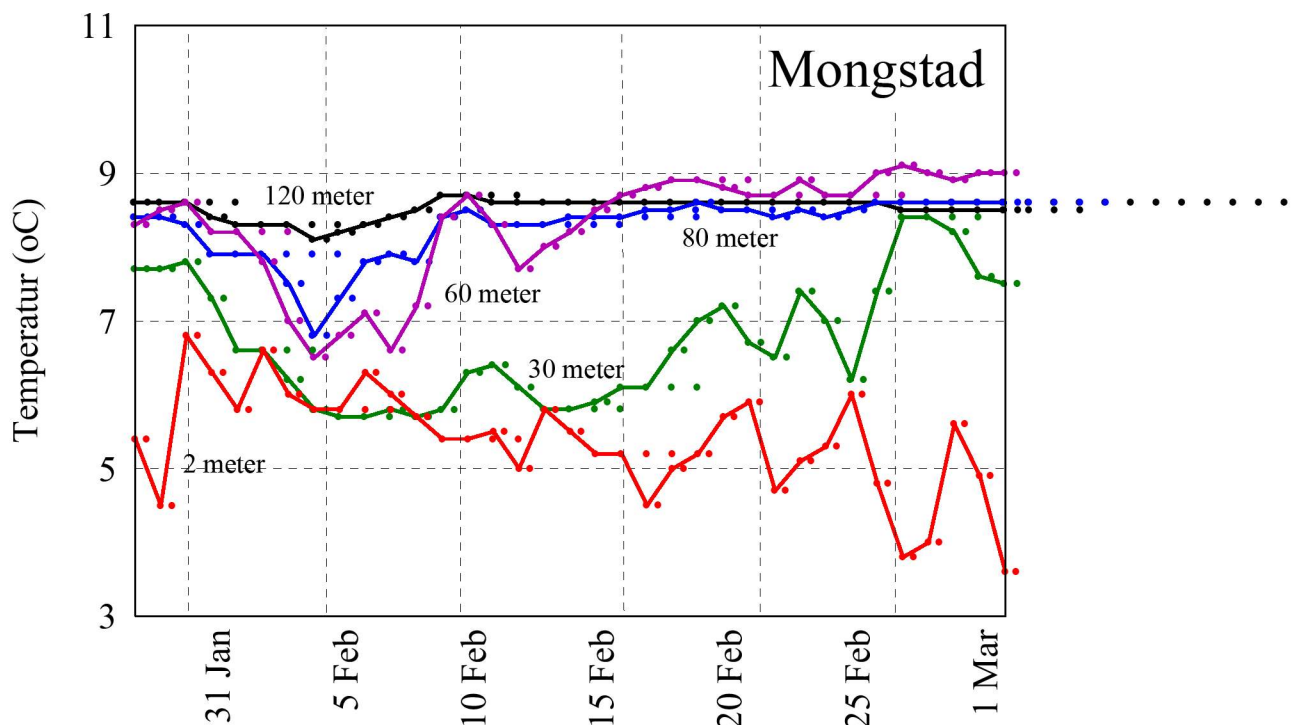
**Tabell 4.** Klassifisering av retningsstabilitet (Neumann parameter) for alle typer strøm. Tilstandsklasse V er best.

Tilstandsklasse	I	II	III	IV	V
	svært lite stabil	lite stabil	middels stabil	stabil	svært stabil
	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,7	> 0,7

# TEMPERATUR- OG SJKTNINGSFORHOLD

## TEMPERATUR

Temperaturen ble målt av strømmålerne hver halvtime på alle dyp i perioden 28. januar - 2. mars 2004 (**figur 3**). Døgnmiddeltemperaturen på alle dyp større enn 30 m var forholdsvis jevn gjennom måleperioden. På 2 og 30 m dyp var det noe større variasjon i temperaturen. Det var gjennomgående kaldest på 2 - 30 m dyp og varmest på 60 - 120 m dyp. På denne årstiden synker temperaturen fremdeles som en konsekvens av lav innstråling og fallende lufttemperaturer (vinteravkjølingen). Dette gir seg utslag i varmetap av oppmagasinert varme nedover i vannøylen, men mest i det øverste vannsjiktet (0 - 20 m) siden disse har vært mest oppvarmet i løpet av sommeren. Avkjølingen av vannøylen ned til 30 m dyp har allerede pågått i flere måneder, men temperaturen på 2 m dyp fortsatte å falle i måleperioden selv om det innimellom var relativt store temperaturvariasjoner. Temperaturen var 5,4 °C den 28. januar og 3,6 °C den 2. mars og varierte ellers i måleperioden mellom 3,8 - 6,8 °C (rød strek). På 30 m dyp var temperaturen 7,7 °C ved målestart. Den falt så gradvis nedover til 5,8 °C den 5. februar og lå rundt dette nivået de neste 13 døgn for deretter å stige til 8,4 °C den 27. februar (grønn strek). På 60 m dyp falt temperaturen den første uken av måleperioden fra 8,3 °C ved målstart til 6,5 °C den 4. februar. Deretter steg temperaturen til 8,7 °C den 10. februar, og var forholdsvis stabil i siste halvdel av måleperioden og lå mellom 8,7 - 9 °C i perioden 16. februar - 2. mars (lilla strek). På 80 m dyp falt temperaturen den første uken av måleperioden fra 8,4 °C ved målstart til 6,8 °C den 4. februar. Deretter steg temperaturen til 8,5 °C den 10. februar, og var forholdsvis stabil i resten av måleperioden (mellom 8,3 - 8,6 °C, blå strek). Temperaturen var mest jevn og stabil på 120 m dyp, og bortsett fra de første 11 dagene i måleperioden lå temperaturen rundt 8,5 - 8,7 °C (svart strek). I første del av måleperioden var temperaturen noe lavere, med 8,1 °C som del laveste den 4. februar. På dette dypet er temperaturen som regel ganske stabil hele året.



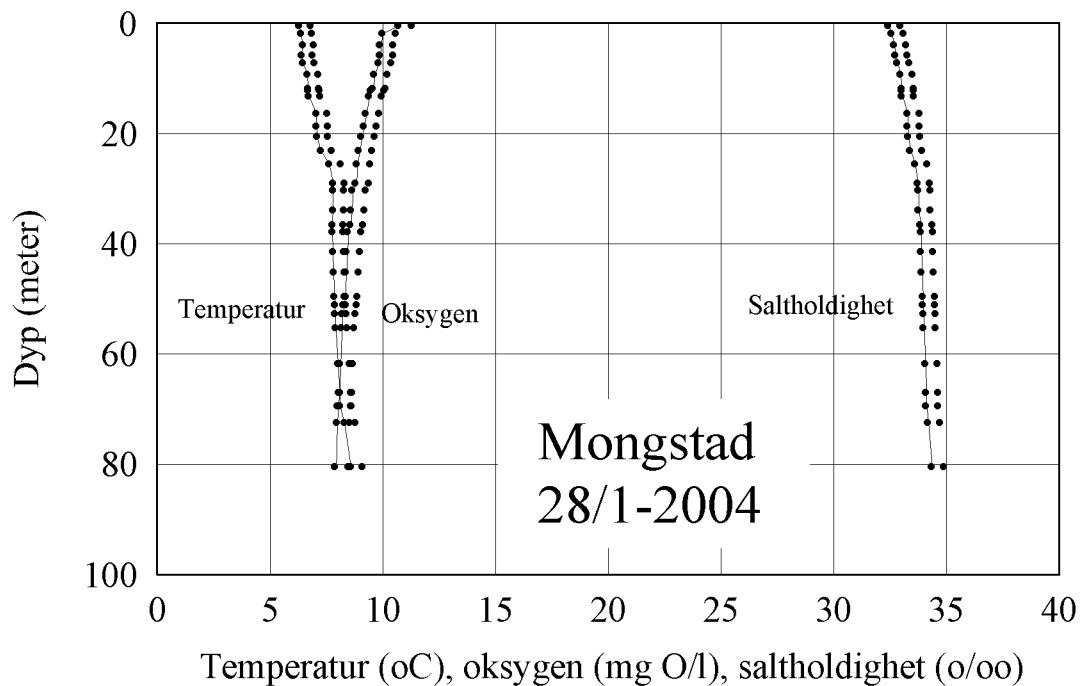
**Figur 3.** Døgnmidler for temperatur målt ved Mongstad på 2, 30, 60, 80 og 120 m dyp i perioden 28. januar - 2. mars 2004.

## SJIKTNINGSFORHOLD

Temperatur, saltinnhold og oksygeninnhold ble målt i vannsøylen den 28. januar 2004 kl. 14 med en YSI 600 XLM nedsenkbar sonde. Sonden ble senket til 81 m dyp like ved den utplasserte strømmåleriggen.

Vannsøylen var nokså homogen på måletidspunktet. Det var ikke noe typisk brakkevannslag på toppen, noe som indikerer lite ferskvannstilrenning til fjorden (**figur 4**). Temperaturen økte jevnt fra 6,3 °C i overflaten til 8,6 °C på 81 m dyp. Saltinnholdet var 32,5 i overflaten og økte gradvis til 34,3 på 81 m dyp.

Oksygeninnholdet var høyt i overflatelaget, med over 100 % metning ned til 7 meters dyp. Deretter falt oksygeninnholdet jevnt ned fra 9,7 til 7,95 mg/l (ca 98 % til ca 85 % metning) mellom 9 og 81 meters dyp.



**Figur 4.** Måling av temperatur (°C), saltinnhold og oksygeninnhold (mg O/l) i vannsøylen ved Mongstad 28. januar 2004.

## RESULTAT AV STRØMMÅLINGENE

### STRØMHASTIGHET

Overflatestrømmen på 2 m dyp hadde en gjennomsnittlig hastighet på 5,1 cm/s i måleperioden, og målingene av strømstyrke fordelte seg noelunde jevnt i de ulike intervallene fra 1 til 8 cm/s (**figur 5**). Den maksimale strømshastigheten på dette dypet ble målt til 30,2 cm/s (**figur 6**).

Det ble målt sterk strøm på 30 m dyp i måleperioden, med en gjennomsnittlig strømshastighet på 2,9 cm/s. Målingene av strømstyrke viste likevel klart flest målinger av strøm under 3 cm/s (66 %), og bare 0,2 % av målingene hadde verdier over 10 cm/s (**figur 5**). Den maksimale strømshastigheten ble målt til 11,8 cm/s (**figur 6**).

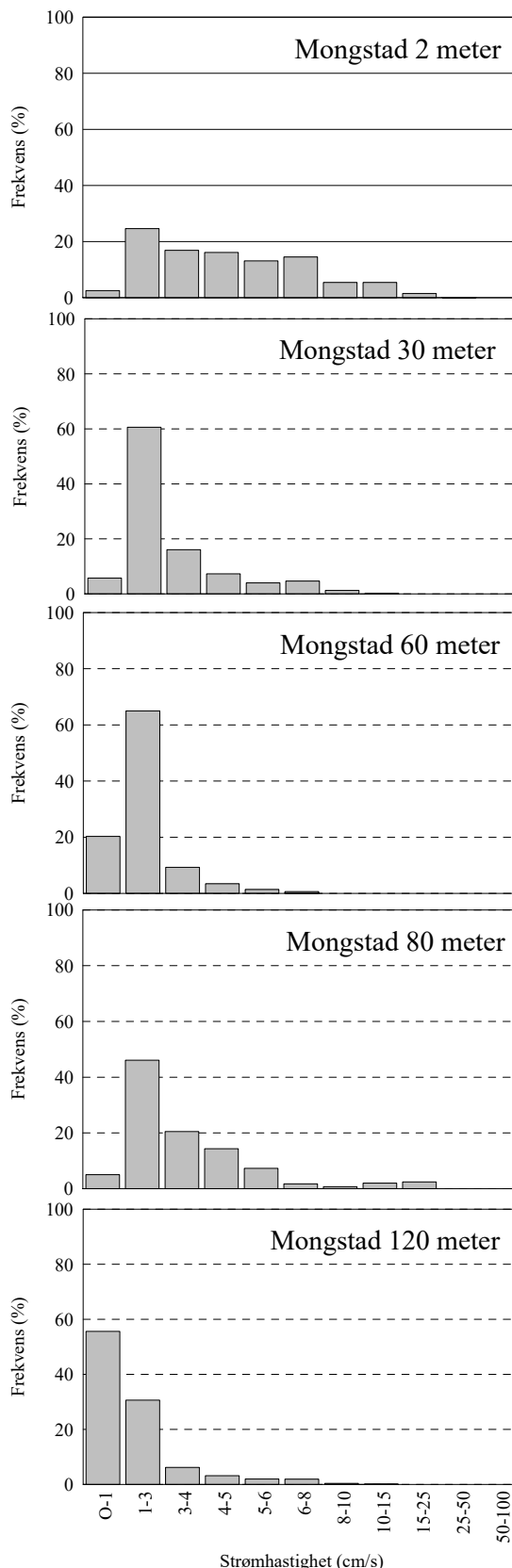
Det ble målt middels sterk strøm på 60 m dyp i måleperioden, med en gjennomsnittlig strømshastighet på 2,0 cm/s. 85 % av målingene av strøm var på under 3 cm/s (**figur 5**). Den maksimale strømshastigheten ble målt til 7,8 cm/s (**figur 6**).

Det ble målt svært sterk strøm på 80 m dyp i måleperioden, med en gjennomsnittlig strømshastighet på 3,7 cm/s. 51 % av målingene av strøm var på under 3 cm/s, mens 42 % av målingene var strøm mellom 3 og 6 cm/s, og 4,4 % var strøm sterkere enn 10 cm/s (**figur 5**). Den maksimale strømshastigheten ble målt til 25 cm/s (**figur 6**). Det var en kraftig økning i strømshastigheten i perioden 21. - 25. februar i forbindelse med en uværsperiode med kuling og storm fra nord og nordvest (**figur 6**).

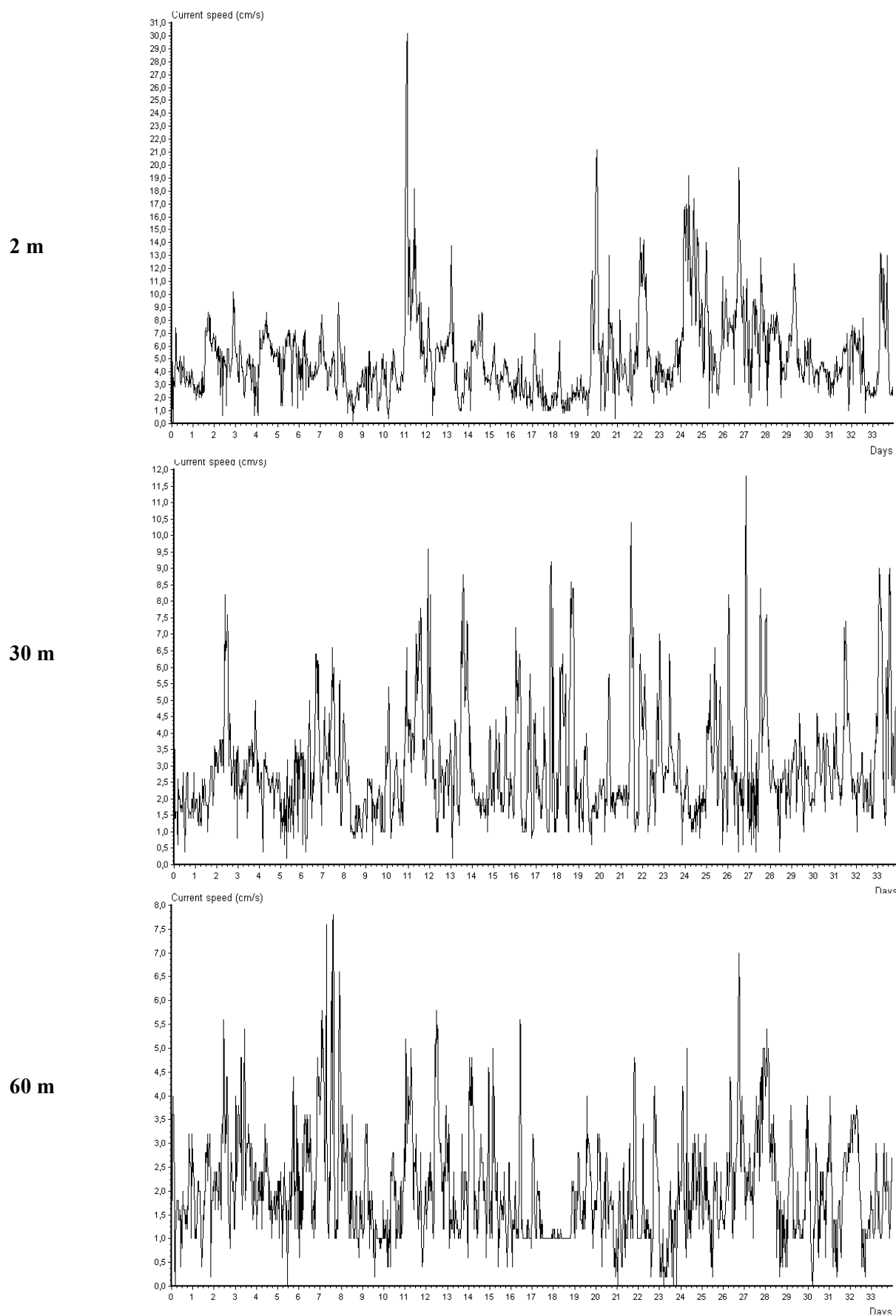
Det ble målt svak strøm på 120 m dyp i måleperioden, med en gjennomsnittlig strømshastighet på 1,8 cm/s. 56 % av målingene av strøm var på 1 cm/s eller mindre (helt strømstille), og det var bare 4,4 % strøm sterkere enn 5 cm/s (**figur 5**). Den maksimale strømshastigheten ble målt til 10,4 cm/s (**figur 6**).

Strømmen på de ulike dyp ned til 80 m dyp så ut til å være tidevannsdrevet med 2-4 strømtopper i døgnet, men utslagene var periodevis små (**figur 6**). Det så heller ikke ut til at månefasene hadde noe særlig innvirkning på strømfarten på noe dyp. Bare på 2 m dyp ble det registret noe sterkere strøm to døgn etter fullmåne 6. februar enn ellers i måleperioden.

*strømshastighet ved  
120 m dyp i*

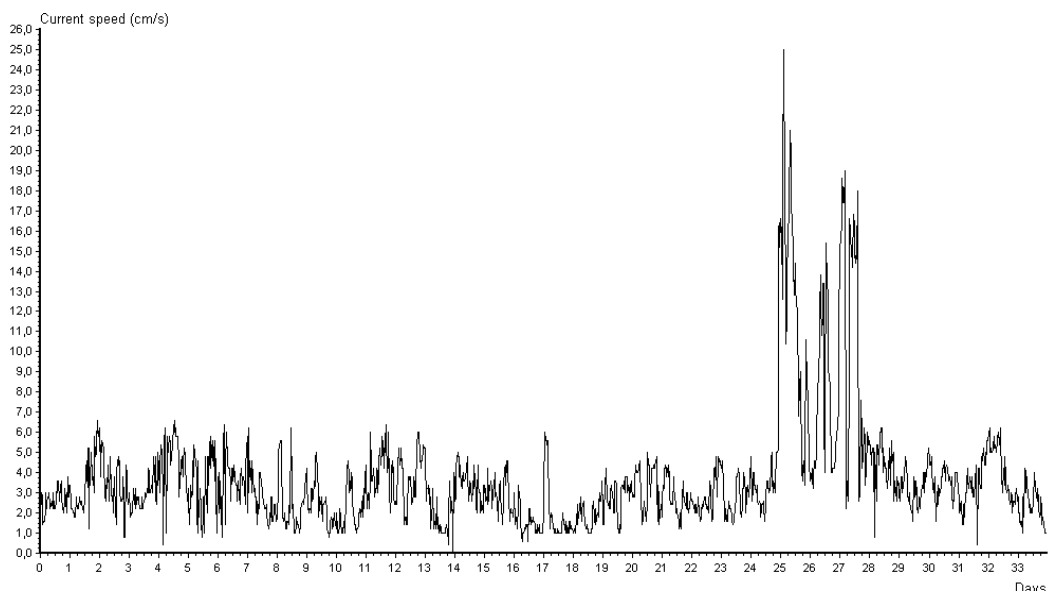


**Figur 5.** Fordeling av Mongstad på 2, 30, 60, 80 og perioden 28. januar - 2. mars 2004.

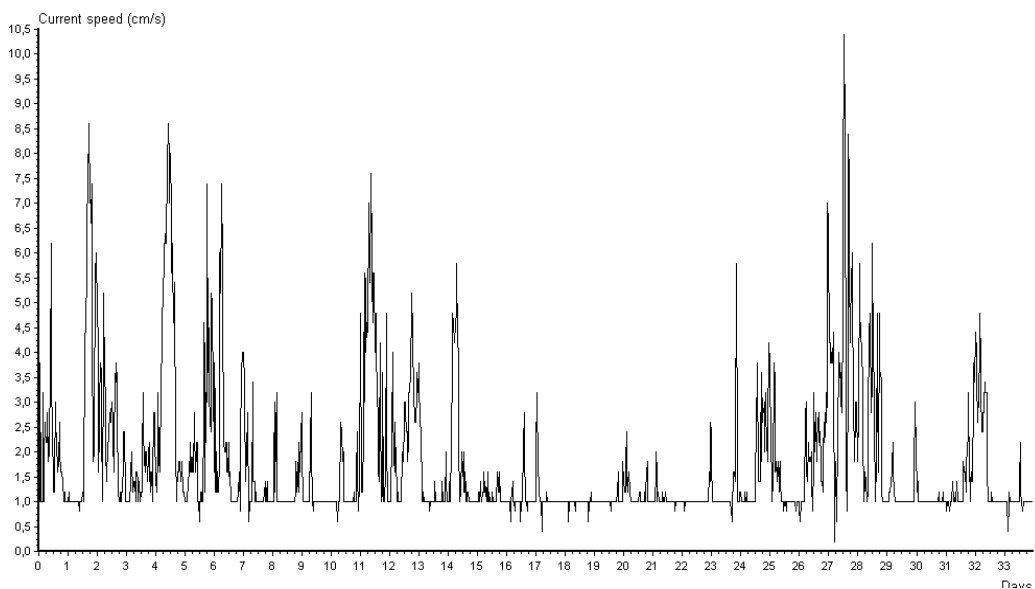


**Figur 6.** Strømhastighet ved Mongstad på 2, 30 og 60 m dyp i perioden 28. januar - 2. mars 2004.

**80 m**



**120 m**



*Figur 6, forts. Strømhastighet ved Mongstad på 80 og 120 m dyp i perioden 28. januar - 2. mars 2004.*

## STRØMSTILLE PERIODER

På 2 m dyp ble det registrert 26 timer av totalt 816 timer med tilnærmet strømstille (under 2 cm/s) i perioder på 2,5 timer eller mer (3,2 %). Ser en på enkeltmålingene gitt i **tabell 5** ble det i løpet av måleperioden registrert til sammen 6 perioder på 2,5 timer eller mer med tilnærmet strømstille, og de to lengste periodene var på 5,5 og 7 timer.

På 30 m dyp var det et svært lite innslag av strømstille perioder i løpet av måleperioden. Til sammen ble det registrert 110 timer av totalt 816 timer med tilnærmet strømstille (under 2 cm/s) i perioder på 2,5 timer eller mer (13,5 %). Ser en på enkeltmålingene gitt i **tabell 5** ble det i løpet av måleperioden registrert til sammen 27 perioder på 2,5 timer eller mer med tilnærmet strømstille, og de to lengste periodene var på 8,5 og 15 timer.

På 60 m dyp var det lite innslag av strømstille perioder i løpet av måleperioden. Til sammen ble det registrert 354,5 timer av totalt 816 timer med tilnærmet strømstille i perioder på 2,5 timer eller mer (43,4 %). Ser en på enkeltmålingene ble det i løpet av måleperioden registrert til sammen 61 perioder på 2,5 timer eller mer med tilnærmet strømstille, og de to lengste periodene var på 21 og 36,5 timer.

På 80 m dyp var det svært lite innslag av strømstille perioder i løpet av måleperioden. Til sammen ble det registrert 93,5 timer av totalt 816 timer med tilnærmet strømstille i perioder på 2,5 timer eller mer (11,5 %). Ser en på enkeltmålingene ble det i løpet av måleperioden registrert til sammen 17 perioder på 2,5 timer eller mer med tilnærmet strømstille, og de to lengste periodene var på 10,5 og 11 timer.

På 120 m dyp var det middels høyt innslag av strømstille perioder i løpet av måleperioden. Til sammen ble det registrert 551,5 timer av totalt 816 timer med tilnærmet strømstille i perioder på 2,5 timer eller mer (67,6 %). Ser en på enkeltmålingene ble det i løpet av måleperioden registrert til sammen 35 perioder på 2,5 timer eller mer med tilnærmet strømstille, og de to lengste periodene var på 48 og 72,5 timer.

**Tabell 5.** Beskrivelse av strømstille på strømmålingsstedet ved Mongstad oppgitt som antall observerte perioder av en gitt lengde med strømhastighet mindre enn 2 cm/s. Lengste strømstille er også oppgitt. Måleintervallet er 30 min på alle dyp, og målingene er utført i perioden 28. januar - 2. mars 2004.

Måledyp	0,5-2 t	2,5-6 t	6,5-12 t	12,5-24 t	24,5-36 t	36,5-48 t	48,5-60 t	60,5-72 t	>72t	Maks
2 meter	54	5	1							7 t
30 meter	104	24	2	1						15 t
60 meter	86	45	13	2	0	1				36,5 t
80 meter	67	11	6							11 t
120 meter	54	12	8	9	2	3	0	0	1	72,5 t

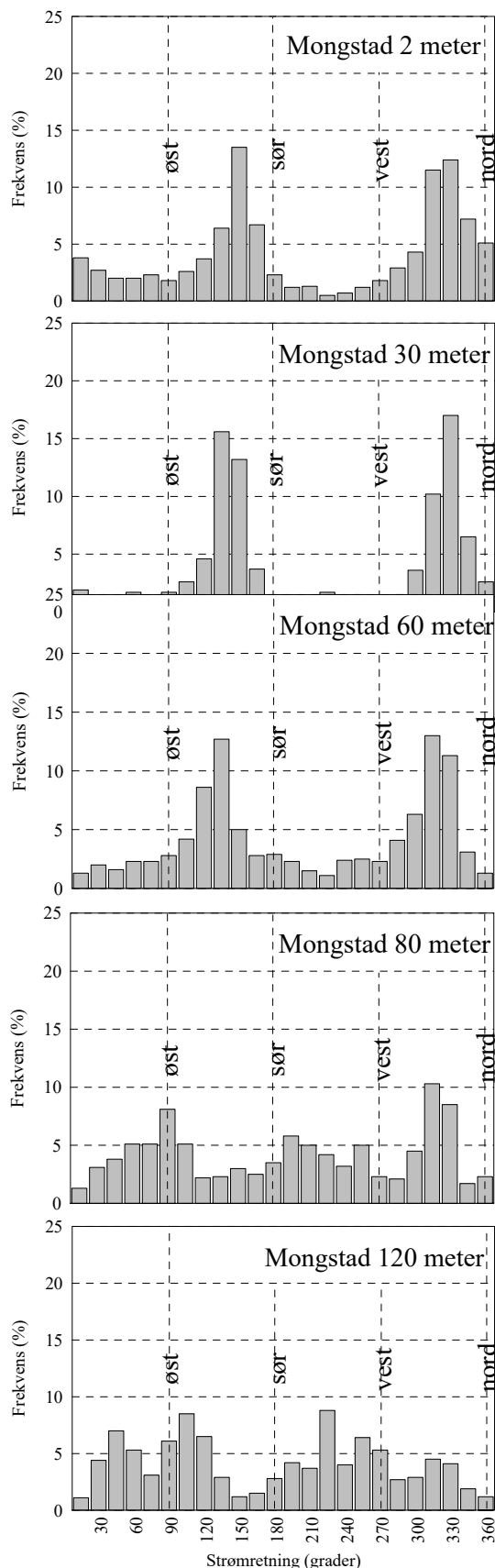
## STRØMRETNING

Det var en dominans av overflatestrøm på 2 m dyp som gikk enten innover fjorden i retning sørøst eller ut av fjorden i retning nordvest (**figur 7**). Neumannparameteren, dvs. stabiliteten til strømmen i nordnordvestlig resultantretning ( $334^\circ$ ) var 0.024 dvs at strømmen var svært lite stabil i denne retningen (**tabell 6**). Strømmen rant altså i løpet av måleperioden med bare 2,4 % stabilitet i nordnordvestlig retning. Det progressive vektorplottet viser at vannmassene periodevis drev fram og tilbake i retning nordvest - sørøst men havnet totalt sett (og litt tilfeldig) opp i nordnordvestlig retning (**figur 8**).

Også på 30 og 60 m dyp var det en dominans av strøm som gikk enten innover fjorden i retning sørøst eller ut av fjorden i retning nordvest (**figur 7**). Neumannparameteren, dvs. stabiliteten til strømmen på 30 m dyp i nordlig resultantretning ( $348^\circ$ ) og på 60 m dyp i nordnordvestlig resultantretning ( $336^\circ$ ) var henholdsvis 0.089 og 0,067, dvs at strømmen var svært lite stabil i disse retningene (**tabell 6**). Strømmen rant altså i løpet av måleperioden med bare 8,9 % stabilitet i nordlig retning og 6,7 % i nordnordvestlig retning. Det progressive vektorplottet viser at vannmassene periodevis drev fram og tilbake i retning nordvest - sørøst men havnet totalt sett (og litt tilfeldig) opp i nordlig og nordnordvestlig retning (**figur 8**).

På 80 m dyp gikk strømmen i de fleste retninger, men med en viss dominans av strøm i retning øst og nordvest (**figur 7**). Neumannparameteren, dvs. stabiliteten til strømmen i vestnordvestlig resultantretning ( $295^\circ$ ) var 0.167 dvs at strømmen var lite stabil i denne retningen (**tabell 6**). Strømmen rant altså i løpet av måleperioden med 17 % stabilitet i vestnordvestlig retning. Det progressive vektorplottet viser at vannmassene de første ukene lå og drev noe retningstilfeldig i samme område før de i forbindelse med perioden med kuling og storm fra nord og nordvest i slutten av februar rant i stor fart ut fjorden mot nordvest i to døgn (**figur 8**).

Strømmen på 120 m dyp gikk også i de fleste retninger med en viss dominans av strøm i retning nordøst, øst og sørvest (**figur 7**). Neumannparameteren i sørsørøstlig resultantretning ( $167^\circ$ ) var 0.103, dvs at strømmen var lite stabil i denne retningen (**tabell 6**). Ser en på vektorplottet mer i detalj ser en at vannmassene periodevis drev retningstilfeldig mot nord, øst og vest og rundt sin egen akse (**figur 8**).

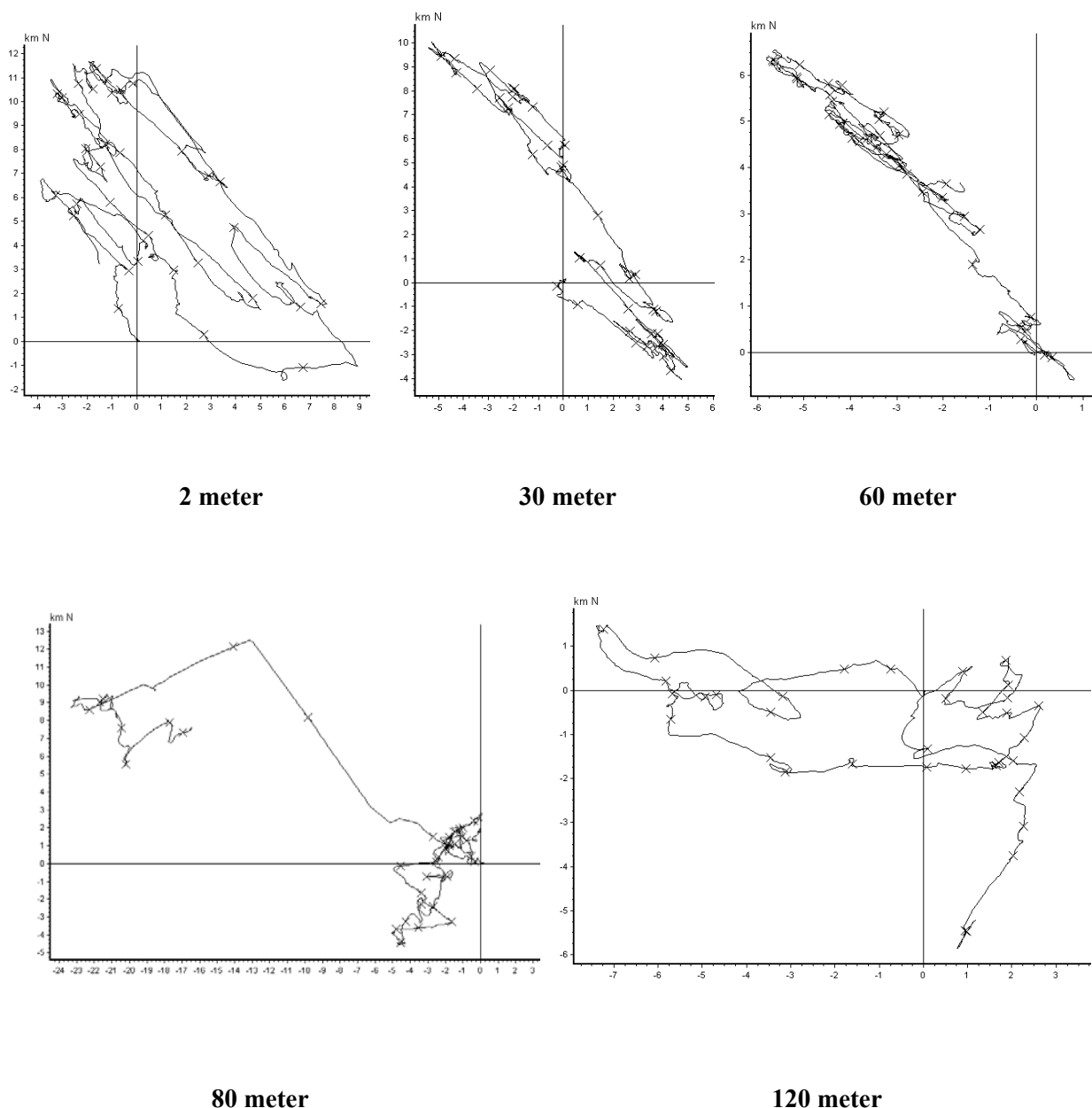


**Figur 7.** Fordeling av strømretning ved Mongstad på 2, 30, 60, 80 og 120 m dyp i perioden 28. januar - 2. mars 2004.



**Tabell 6.** Beskrivelse av hastighet, varians, stabilitet, og retning til strømmen ved Mongstad på 2, 30, 60, 80 og 120 m dyp i perioden 28. januar - 2. mars 2004.

Måledyp	Middel hastighet (cm/s)	Varians (cm/s) <sup>2</sup>	Neumann-parameter	Resultant retning
2 meter	5,1	10,3	0,024	334° = NNV
30 meter	2,9	2,67	0,089	348° = N
60 meter	2,0	1,25	0,067	336° = NNV
80 meter	3,7	8,43	0,167	295° = VNV
120 meter	1,8	1,38	0,103	167° = SSØ



**Figur 8.** Progressivt vektorplott for målingene på 2 meters dyp (oppe til venstre), 30 meters dyp (oppe, midten), på 60 meters dyp (oppe til høyre), på 80 meters dyp (nede til venstre) og på 120 meters dyp (nede til høyre).

## VANNTRANSPORT

Vanntransporten på de ulike dypene er en funksjon av strømhastighet og strømretning og er framstilt i **figur 9**. **Figur 10** viser sammenfattende strømroser av største registrerte, samt middel strømhastighet, vanntransport og antall målinger pr retningsenhet.

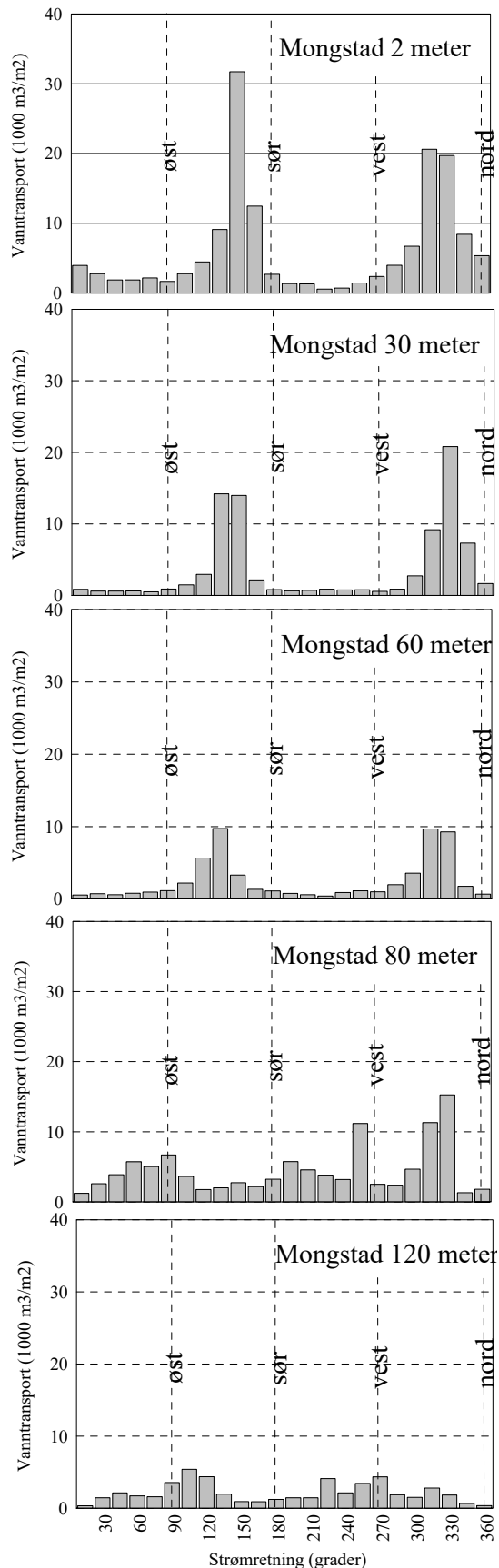
På 2 m dyp var det en klar dominans av vanntransport i retning sørøst og nordvest. Den sterkeste strømmen (30 cm/s) og den sterkeste gjennomsnittsstrømmen (8 cm/s) ble målt mot sørøst (**figur 9** og **10**).

På 30 m dyp var det også en klar dominans av vanntransport mot sørøst og nordvest. Den sterkeste strømmen (10,3 - 11,8 cm/s) og den sterkeste gjennomsnittsstrømmen (3,5 - 4,2 cm/s) på dette dypet gikk i de samme retninger (**figur 9** og **10**).

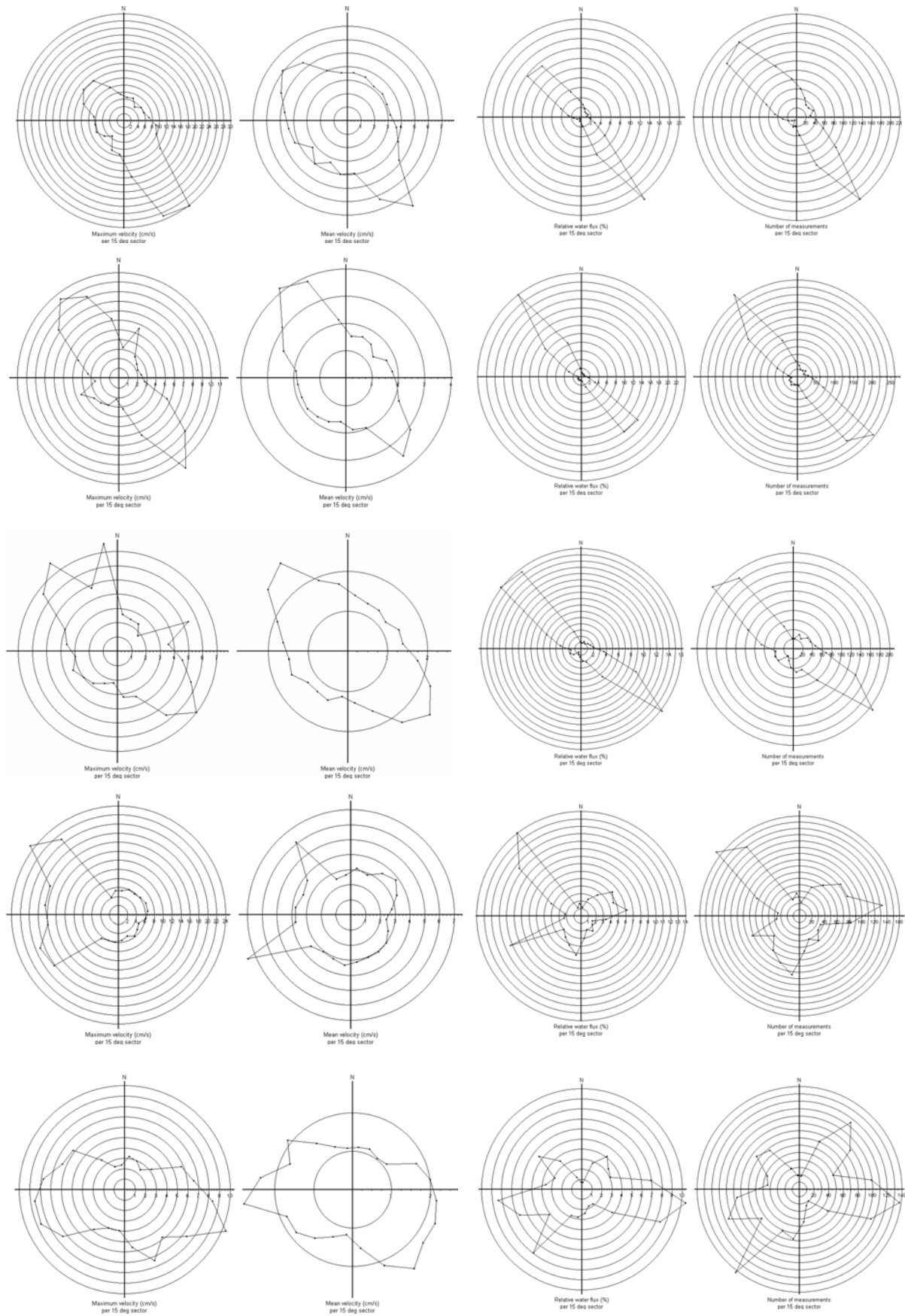
På 60 m dyp var det også en klar dominans av vanntransport mot sørøst og nordvest. Den sterkeste strømmen (7 - 7,5 cm/s) og den sterkeste gjennomsnittsstrømmen (2,5 - 2,7 cm/s) på dette dypet gikk i de samme retninger (**figur 9** og **10**).

På 80 m dyp var det høyest vanntransport i retning øst, vest og nordvest. Den sterkeste strømmen (25,0 cm/s) ble målt i retning nordvest og den sterkeste gjennomsnittsstrømmen (6 og 7,5 cm/s) på dette dypet gikk i retning vestsørvest og nordvest (**figur 9** og **10**).

På 120 meters dyp var vanntransporten lavest på grunn av at strømmen her var svakest. Strømmen rant i de fleste retninger, med en svak dominans av strøm mot østsørøst, sørvest og vest. Den sterkeste strømmen (8,5 og 10,2 cm/s) ble målt mot vestsørvest og østsørøst (**figur 9** og **10**).



**Figur 9.** Vanntransport (total fluks) ved Mongstad på 2, 30, 60, 80 og 120 m dyp i perioden 28. januar - 2. mars 2004.



**Figur 10.** Sammenfattende strømroser for måleresultatene ved Mongstad på 2, 30, 60, 80 og 120 m dyp i perioden 28. januar - 2. mars 2004. Resultatene fra 2 meter (øverst), 30 meter, 60 meter, 80 meter og

*120 meter (nederst). De fire ulike rosene viser fordelingen for hver 15 grad, fra venstre: Største registrerte, samt middel strømhastighet, vanntransport og antall målinger.*

## DISKUSJON

### Temperatur og sjiktning

I forbindelse med det planlagte vanninntaket er det viktig å vite hvilket dyp man bør legge inntaket på for å sikre en årlig jevn og stabil temperatur. Fensfjorden er en åpen og dyp, kystnær fjord der det kan forventes at man alltid vil kunne ha tilgang på oksygenrikt vann. Langs kysten på Vestlandet har man tilgang på to typer vann. Det ene er kyststrømvann med variabel temperatur og salinitet hele året. Det andre er atlantehavsvann med stabil temperatur og salinitet hele året. Vanligvis regnes atlantehavsvann på våre breddegrader å holde en salinitet på over 35, og en stabil temperatur på 8,0 - 8,5 °C, mens kyststrømvann har en salinitet på under 35 og en variabel temperatur med økende maksimum og minimum dess høyere i vannsøylen man befinner seg. Siden kyststrømvann har en lavere salinitet og jevnt over en høyere temperatur enn atlantehavsvann (bortsett fra vinterstid), vil det ligge som et lag oppå havvannet langs kysten og innover i fjordene.

Vind skaper strøm, og vinddrevet strøm er en svært viktig strømskapingfaktor langs kysten og innover i fjordene. På grunn av jordrotasjonen vil vind som blåser over en sjøflate sette opp en vinddrevet strøm som går til høyre for vindretningen på den nordlige halvkule. Dette innebærer at sørlige og sørvestlige vinder vil stue opp kyststrømvann langs kysten og innover i fjordene og føre til en vertikal økning av tykkelsen på kyststrømvannet. Om sommeren vil dette kunne medføre en temperaturøkning nedover i vannsøylen, og tilsvarende et temperaturfall om vinteren. Nordlige og nordvestlige vinder vil tilsvarende trekke kyststrømvannet ut fra kysten. Man får en upwelling langs kysten der dypereliggende havvann erstatter det overliggende kyststrømvannet. Innover i fjordene vil man tilsvarende få en fortykning av laget av kyststrømvann. På kysten vil man om sommeren kunne få et temperaturfall på mange grader, og om vinteren vil temperaturen også kunne stige flere grader i den øverste delen av vannsøylen.

Det som faktisk skjer ved oppstuing og upwelling er ikke primært en vertikalblanding av vannmasser av ulik karakter (temperatur og salinitet), men en vertikalforskyvning av vannlagene, slik at tykkelsen på disse varierer over tid alt etter retningen og styrken på vinden. I områder med passatvind der vinden blåser i samme retning over lang tid, og som samtidig skaper en upwelling (som f. eks langs kysten av Chile), vil næringsrikt havvann nærmest som en fontene komme helt opp i overflaten. Det er dette som gir grunnlag for de gode fiskeriene langs kysten av Chile og Peru.

Strømmålingene ved Mongstad viser en tydelig ekstremepisode med oppstuing av kaldere vann langs kysten og innover i Fensfjorden, og en tydelig ekstremepisode med utstrømming av kyststrømvann fra Fensfjorden som blir kompensert av varmere havvann. Fra rundt 1. februar og fram til 8. februar d.å. var det en sammenhengende uke med kuling og storm fra sør og sørvest. Temperaturen falt i hele vannsøylen ned til 120 meter, noe som indikerer en kraftig oppstuing og fortrenging av dypereliggende varmere havvann. Det var en helt tydelig effekt ned til 80 meters dyp, der det var et temperaturfall på 1,6 °C i løpet av 6 døgn (fra 8,4 til 6,8 °C i perioden 29. januar - 4. februar). På 120 meters dyp var effekten moderat med et temperaturfall på 0,5 °C.

Fra rundt 24. februar og fram til 2. mars var det en periode med nordavind der det innimellom blåste kuling og storm fra nord- og nordvest. Temperaturen økte i hele vannsøylen opp til 30 meter, noe som indikerer en kraftig utstrømming av kaldere kyststrømvann som ble erstattet av varmere og dypereliggende havvann. Det var en helt tydelig effekt opp til 30 meters dyp, der det var en temperaturøkning på 2,2°C i løpet av 2 døgn (fra 6,2 til 8,4°C i perioden 25. - 27. februar).

Dette indikerer at ønsker man å sikre stabil vannkvalitet hele året med inntak av havvann, bør inntaket ligge på 120 meters dyp. Vanligvis regner man 80 m dyp som tilstrekkelig for å sikre inntak av havvann med jevn temperatur og salinitet, men i dette tilfellet så man en svak oppstuingseffekt helt ned til 120

meters dyp. Siden det er svært bratt i området hvor inntaksledningen skal legges kan man i praksis legge inntaksledningen på det dyp en måtte ønske uten noe særlig kostnadsøkning.

En annen problemstilling er knyttet til hvorvidt utslipp (med omtrent samme egenvekt som sjøvannet) fra andre steder på Mongstad i det samme geografiske området som inntaksledningen er planlagt, vil kunne taes inn i sjøvannsinntaket. Vanligvis vil en i en vannsøyle på 120 meters dyp ha relativt klart definerte og ulike sjikt som ikke vertikalblandes på grunn av ulik temperatur og salinitet. Om vinteren vil man imidlertid i kystnære, utersklede fjordbasseng med lite ferskvannstilrenning kunne ha en viss vertikalblanding der tungt, salt og kaldt overflatevann synker nedover i vannsøylen og blandes med varmere vann. Dette vil normalt være avgrenset til de øverste 40 - 50 metrene. Perioder med kraftig oppstuing på grunn av sør- og sørvestlige vinder vil kunne vertikalforskyve vannlag med f. eks utslipp nedover i vannsøylen mot et gitt inntaksdyp. De ulike vannlagene er i horisontal bevegelse, selv om de forskyves vertikalt, og det vil uansett bli en fortykningseffekt. Et vanninntak på 120 - 140 meters dyp bør uansett være tilstrekkeleg for å unngå en slik vertikalforskyvning.

### **Strømhastighet**

Strømhastigheten på de ulike måledyp ble vurdert til å være tilfredsstillende ut fra en klassifisering av strøm i forhold til oppdrettsvirksomhet i sjø. Noe overraskende ble det målt sterkere strøm på 80 meters dyp enn på 30 og 60 meters dyp. Hva dette skyldes er noe uklart. Efaringsmessig viser de aller fleste av våre strømmålingsserier avtagende strømfart nedover i vannsøylen når en måler på ulike dyp.

I perioden 22. - 25. februar økte strømhastigheten voldsomt på 80 meters dyp. Gjennomsnittlig strømhastighet for hele måleperioden var på 3,7 cm/s, men i denne perioden var gjennomsnittlig strømfart på 80 meters dyp hele 10,9 cm, med en maksimal strømhastighet på 25 cm/s. Retningen på strømmen er i denne perioden mot nordvest, dvs ut Fensfjorden og mot sørvest, dvs delvis inn fjorden det siste døgnet. Fra 25. februar er strømhastigheten som ellers i måleperioden, og det er fra denne dato en får den kraftige temperaturøkningen på 30 meters dyp. Det er bare på 80 meters dyp at man hadde denne kraftige perioden med strøm.

Siden man ikke har samtidige strømmålinger andre steder i Fensfjorden, er det vanskelig å anslå hvorfor strømmen var så pass sterk på 80 meters dyp, både i den korte perioden og i hele måleperioden. Det er grunn til å tro at det må ha sammenheng med periodene med oppstuing av kystvann og upwelling og innstrømming av havvann. Det skapes strøm i vannsøylen når vannlag vertikalforskyves fordi tykkelsen på disse varierer over tid. Når kystvann stues opp innover i f. eks Fensfjorden, må det underliggende havvannet fortreges, og det naturlige vil da være at dette strømmer ut på undersiden av kyststrømvannet. På samme måte vil upwelling medføre at det underliggende havvannet strømmer innover i Fensfjorden på undersiden av kyststrømvannet samtidig som laget med kyststrømvann renner ut fjorden og blir tynnere. Det skapes også en slags form for indre bølger i vannsøylen der ulike vannsjikt vipper opp og ned alt etter styrken på oppstuingen eller oppwelling, og man kan således få strøm som renner fram og tilbake på samme sted, selv om vertikalforskyvingen av vannlag i en gitt periode tilsier en lengre periode med enten oppstuing eller fortykning av kyststrømvann.

### **Strømstille perioder**

Innslaget av strømstille perioder var ikke spesielt høyt på noe dyp. Dette indikerer tilnærmet kontinuerlig gode utskiftingsforhold i hele vannsøylen ned til 120 meters dyp.

### **Strømretning og vanntransport**

Strømmen på de ulike dyp følger i all hovedsak fjordens landskapstopografi, dvs strøm som renner enten inn fjorden mot sørøst eller ut fjorden mot nordvest. Dette var særlig tydelig ned til 60 meters dyp, men

også relativt tydelig på 80 meters dyp. På 120 meters dyp rant også en god del av strømmen i fjordens retning enten innover mot øst - sørøst eller utover mot vest.

Vanntransporten ned til 60 meters dyp tilsvarer strømretningen der det var klart mest strøm i retning sørøst og nordvest. På 80 meters dyp var det høyest vanntransport mot nordvest, noe som skyldes perioden med svært kraftig strøm 22. - 25. februar. På 120 meters dyp var det mest vanntransport i retning vest og øst. Siden det på alle dyp er strøm som renner fram og tilbake forbi målestedet, er stabiliteten til strømmen dårlig på alle dyp. Dette ville ha hatt betydning dersom en hadde hatt merddrift på stedet. Da ville overflatevannutskiftningen ha blitt vurdert til å være dårlig fordi man stort sett ville ha hatt tur - returstrøm. Selv om strømmen ikke slavisk renner fram og tilbake på stedet 2 - 4 ganger i forbindelse med tidevannet, er utskiftningen over tid slik at om en f. eks hadde hatt lus på fisken, ville larvene ha drevet tilbake til anlegget. For et skjellanlegg ville strømforholdene blitt vurdert til å være relativt ugunstige fordi skjellene i liten grad ville fått tilgang på nytt algerikt vann. For det planlagte vanninntaket spiller det mindre rolle fordi man skal ta ut vann i fra et dyp som ligger i tilknytning til en helt ubetydelig belastet vannkilde.

### **Konklusjon**

Fensfjorden er en åpen og dyp, kystnær fjord der det kan forventes at man alltid vil kunne ha tilgang på oksygenrikt vann. Temperaturmålinger viser at effekten av oppstuing av kystvann ved lengre perioder med kuling og storm fra sør kan registreres helt ned mot 120 meters dyp. Effekten av utstrømming av kyststrømvann og underliggende innstrømming av havvann ved lengre perioder med kuling og storm fra nord og nordvest kan registreres helt opp til 30 meters dyp. For å være sikret stabil vannkvalitet med hensyn til temperatur og salinitet året rundt bør inntaket legges på minst 120 meters dyp. Det ble målt middels sterk til svært sterk strøm ned til 80 meters dyp og svak strøm på 120 meters dyp. Innslaget av strømstille perioder var lite til svært lite ned til 80 meters dyp og middels høyt på 120 meters dyp. Strømretningen og vanntransporten fulgte på alle dyp i all hovedsak fjordens landskapstopografi og gikk i retning nordvest eller sørøst, men stabiliteten til strømmen på alle dyp i resultatretningen var relativt dårlig.

## REFERANSER

**GOLMEN, L. G. & E. NYGAARD 1997.**

Strømforhold på oppdrettslokaliteter i relasjon til topografi og miljø.

*NIVA-rapport 3709, 58 sider, ISBN 82-577-3275-3*

**GOLMEN, L. G. & A. SUNDFJORD 1999.**

Strøm på havbrukslokaliteter.

*NIVA-rapport 4133, 33 sider, ISBN 82-577-3743-7*



## OM GYTRE SD-6000 STRØMMÅLER

Strømmåleren som er benyttet (en Gytre måler, SD 6000) har en rotor med en treghet som krever en viss strømfart for at rotoren skal gå rundt. Ved lav strømfart vil Gytre måleren derfor i mange tilfeller vise noe mindre strøm enn det som er reelt, fordi den svakeste strømmen i perioder ikke blir fanget tilstrekkelig opp av måleren. På lokalitetene er en god del av strømmålingene på alle dyp lavere enn 3-4 cm/s, og derfor kan man ikke utelukke at lokalitetene på disse dybdene faktisk er noe mer strømsterke enn målingene viser for de periodene man har målt lav strøm. I de periodene måleren viser tilnærmet strømstille kan strømmen periodevis egentlig være 1 – 2 cm/s sterkere. Målingene på alle dyp er således **minimumsstrøm** all den tid man har indikasjoner på at Gytre strømmålerne måler mindre strøm enn sann strøm ved lav strømhastighet.

Man må i denne sammenhengen gjøre oppmerksom på at strømmålerne brukt på denne lokaliteten registrerer en verdi på 1,0 cm/s når rotoren ikke har gått rundt i løpet av målentervallet (30 min). Terskelverdien er satt til 1,0 cm/s for å kompensere for at rotoren krever en viss strømfart for å drive den rundt. Ved de tilfellene der måleren viser verdier under 1,0 cm/s, skyldes dette at rotoren ikke har gått rundt i løpet av målentervallet, men at det likevel har vært nok strøm til at måleren har skiftet retning i løpet av målentervallet. Strømvektoren for målentervallet blir da regnet ut til å bli lavere enn 1 cm/s.

En instrumenttest der en Gytre måler (SD 6000) og en Aanderaa måler (RCM7 strømmåler) ble sammenlignet, ble utført av NIVA i 1996. Aanderaa-måleren har en rotor med litt annen design enn SD 6000. Testen viste at RCM 7 strømmåleren ga 19 % høyere middelstrømfart enn Gytre måleren (Golmen & Nygård 1997). På lave strømverdier viste Gytre måleren mellom 1 og 2 cm/s under Aanderaa måleren, dvs at når Gytre måleren viste 1-2 cm/s, så viste Aanderaa måleren 2 – 3 cm/s. Dette kan som nevnt forklares ut fra vannmotstanden i rotorburet til en Gytre måler, samt at det er en viss treghet i en rotor der rotoren må ha en gitt strømstyrke for å gå rundt. Ved lave strømstyrker går større del av energien med til å drive rundt rotoren på en Gytre måler enn på en Aanderaa måler.

Det ble i 1999 utført en ny instrumenttest av samme typer strømmålere som ble testet i 1996 (Golmen & Sundfjord 1999). Testen ble utført på en lokalitet på 3 m dyp i 9 dager i januar 1999. I tillegg til Aanderaa- og SD 6000-målerne stod det en NORTEK 500 kHz ADP (Acoustic Doppler Profiler) strømmåler på bunnen. Denne måler strøm ved at det fra måleren sine hydrofoner blir sendt ut en akustisk lydimpuls med en gitt frekvens (f.eks. 500 kHz) der deler av signalet blir reflektert tilbake til instrumentet av små partikler i vannet. ADP strømmåleren har flere celler/kanaler og kan måle strøm i flere forskjellige dybdesjikt, f.eks. hver meter i en vannøyle på 50 m. Ved å sammenligne strømmålingene på 3 m dyp (Aanderaa- og Gytremåleren) med NORTEK ADP (celle 31, ca 4 m dyp) fant en at NORTEK ADP målte en snittstrøm på 5,1 cm/s, Aanderaa RCM 7 en snittstrøm på 2,7 cm/s, og SD 6000 en snittstrøm på 2,0 cm/s.

Man ser at i denne instrumenttesten ligger begge rotormålerne langt under ADP måleren når det gjelder strømstyrke. Selv om man ikke kan trekke bastante konklusjoner ut fra et enkeltforsøk, ser man at rotormålere generelt måler mindre strøm enn «sann strøm» ved lav strømhastighet.

Det må nevnes at etter at denne instrumenttesten ble utført, har det blitt utviklet et nytt og mer robust rotorbur i syrefast stål på Gytre målerne, som på en bedre måte registrerer strømmen ved lav strømfart. Dette rotorburet ble brukt i alle tre strømmålerne på denne lokaliteten. Det står igjen å utføre en instrumenttest med dette rotorburet, men det er grunn til å tro at denne typen rotorbur ikke i like stor grad som det gamle rotorburet måler mindre strøm enn sann strøm ved lav strømfart.

